



Akademie-Vorlesung im Schloss 2020 „Schlaf und Traum“

Schlafphysiologie – die Notwendigkeit der geistigen Abwesenheit

ALEXANDER WIRTH

Zentrum Physiologie, Medizinische Hochschule Hannover

Schlaf beschäftigt seit jeher die Menschheit. Bereits die alten Griechen und Römer waren sich der Notwendigkeit des Schlafes für die Gesundheit bewusst. Galen beschrieb den Schlaf bereits als natürlichen Habitus, der in der Nacht stattfindet, damit wir am Tag wach sein können. William Shakespeare beschrieb den Schlaf als sanfte Krankenschwester der Natur und auch der englische Dramatiker Thomas Dekker fand treffende Worte: Schlaf ist das goldene Band, dass Gesundheit und unseren Körper bindet. Das heißt von der Antike bis hin in 17./18 Jahrhundert genoss Schlaf einen hohen, gesundheitsfördernden Stellenwert. Im 19 Jh. änderte sich dies: Margret Thatcher war der Meinung, dass Schlaf nur etwas für Weicheier ist („Sleep is for wimps“) und der Erfinder Thomas Edison bekannt durch die Weiterentwicklung der Glühlampe, bezeichnete Schlaf gar als kriminelle Zeitverschwendung und ein Überbleibsel unserer evolutionären Vergangenheit als wir noch Höhlenmenschen waren („Sleep is a criminal waste of time, inherited from our cave days“).

Es ist erstaunlich wie gesellschaftsfähig Schlafmangel geworden ist. Dies spiegelt sich auch in der Schlafdauer westlicher Nationen wider: innerhalb von nur 70 Jahren büßten diese 2 Stunden wertvollen Schlaf ein. Schließen die meisten in den 1950iger Jahren noch 8 Stunden, so schlafen wir heute im Schnitt nur noch gute 6 Stunden. Einige glauben, Schlaf sei Ihr Feind, weil man doch nichts schaffe. Ich möchte Ihnen hier noch einmal verdeutlichen, dass die alten Ansichten alles andere als falsch sind und wenig Schlaf im Sinne eines Schlafmangels Nichts sein sollte, auf das man stolz sein kann.

Wir als tagaktive Säugetiere verbringen also die Nacht in dem Zustand den wir Schlaf nennen. Aufgrund der Tatsache, dass wir Menschen ungefähr ein Drittel des Tages in diesem Zustand verbringen, sollte man annehmen, dass es sich um etwas Wichtiges handelt. Mittlerweile ist die Forschung soweit, dass man bei Schlaf vielmehr von einem Verhalten als von einem Zustand sprechen sollte. Ein Drittel des Tages in diesem Verhalten zu verharren bedeutet für eine 60-jährige Person, dass diese 20 Jahre lang geschlafen hat. 20 Jahre des Lebens hat Sie in diesem faszinierenden Verhalten zugebracht, eine nicht zu vernachlässigende Zeit. Schließlich verbringen wir mit keinem anderen Verhalten so viel Zeit.

Schlaf ist ein intrinsisches, regelmäßig wiederkehrendes (reversibles) Verhalten, bei dem sich die Bewusstseinslage und Körperfunktion ändern und meist sowohl motorische als auch sensorische Ruhe vorliegt. Der Schlaf ist vollständig reversibel, charakterisiert durch die Abwesenheit von Willkürbewegungen, tritt spontan auf und im Vergleich zum Koma oder einer Narkose intrinsisch, ist meist gebunden an eine spezie-spezifische Haltung und weist eine erhöhte Sinnes-Reizschwelle auf.



Schlaf ist ein komplex-koordiniertes und reguliertes Verhalten. Die Frage warum wir schlafen und nicht minder spannend, warum wir nicht mehr schlafen, ist bis heute unbeantwortet. Es gibt lediglich eine ganze Reihe an Ideen, warum es sich lohnt zu schlafen. Einer der Antriebe warum wir schlafen, ist unser innerer zirkadianer Rhythmus. Es hat sich in der Evolution des Menschen offensichtlich als positiv erwiesen zu schlafen. Dieser Mechanismus ist sehr komplex, dennoch werde ich gleich kurz näher auf diesen Rhythmus eingehen. Das zweite was unser Verlangen nach Schlaf reguliert ist die sog. Homöostase: Ein Wechsel zwischen Schlafen und Wachen. Auch dies werde ich im Folgenden noch einmal kurz aufgreifen. Auch wenn wir aus physiologischer Sicht noch gar nicht so genau wissen, warum wir wieder aufwachen, ist die Frage in unserer heutigen Gesellschaft recht einfach zu beantworten. Wir wachen auf, weil wir uns durch unnatürliche Faktoren (Wecker) über unsere Schlafregulationssysteme hinwegsetzen. Aber nicht ohne Folgen. Welche das sein können, werde ich Ihnen im weiteren Verlauf aufzeigen.

Tief im Inneren unseres Gehirns im sog. Thalamus sitzt unsere zirkadiane Hauptuhr. Von dort wird mehr oder weniger das gesamte physiologische Geschehen im Körper zeitlich reguliert. Für die Entschlüsselung der molekularen Mechanismen in diesem Teil des Gehirns, gab es 2017 den Nobelpreis in Medizin. Mit dieser Würdigung erlangte die Notwendigkeit des Schlafens und zirkadianer Prozesse neue Aufmerksamkeit. Hier im Inneren des Gehirns im Thalamus befinden sich Nervenzellen in denen auf molekularer Ebene ein Prozess abläuft, der Tag und Nacht in uns reguliert.

Es ist ein genetisch festgelegtes Programm, welches Tag für Tag abläuft und unsere gesamte Physiologie in einem zeitlichen Verlauf orchestriert. Tagsüber werden in diesen Nervenzellen bestimmte Eiweiße gebildet, das sog. Per und das Cry Protein. Diese lagern sich in der Zelle zusammen und bilden einen Proteinkomplex, der in der Lage ist in den Zellkern der Nervenzellen zu wandern. Dort angekommen, bindet der Eiweißkomplex an Strukturen, die dazu führen, dass Ihre eigene Produktion abgeschaltet wird. In der Nacht wird also kein neues Eiweiß mehr produziert. Im Gegenteil: die beiden sich selbst regulierenden Eiweiße Per und Cry werden abgebaut und der Zyklus kann von vorne beginnen. Dieser molekulare Mechanismus ist die genetisch festgelegte Grundlage unserer Inneren Uhr.

Wie bereits erwähnt, beeinflusst dieser Rhythmus unsere Physiologie. So wird am frühen Abend der Schlafbotenstoff, das sog. Melatonin ausgeschüttet, das den Körper auf den Schlaf vorbereitet. Die Körpertemperatur beginnt zu sinken und wir gleiten in unseren tiefsten Schlaf. Gegen Morgen steigt unsere Körpertemperatur erneut an und die Konzentration des Schlafbotenstoffs sinkt ab. Am frühen Morgen ist unser Körper bereit für geistige Leistungsfähigkeit und weist eine hohe Aufmerksamkeit auf. Am Nachmittag hingegen sorgt das Programm dafür, dass unsere Muskeln sehr leistungsfähig sind und wir unsere höchste körperliche Fitness erreichen. Bevor der Schlafbotenstoff Melatonin wieder ansteigt und uns auf die nächste Nacht vorbereitet und unser genetisch vorgegebener Rhythmus von Neuem beginnt.

Dieses Programm kann sich von Mensch zu Mensch unterscheiden. Tatsächlich diktiert uns unsere Innere Uhr, wann wir am besten schlafen und wann wir am leistungsfähigsten sind. Aus Schlafphysiologischer Sicht unterscheidet man in Bezug auf den Schlaf zum einen die sog. Lerchen; die Frühaufsteher. Das sind Menschen, die z.B. in aller Regel von alleine gegen 23 Uhr müde werden und nach der ersten Schlafhälfte gegen ca. 3 Uhr nachts Ihren Mittelpunkt des Schlafes haben. Um 3 Uhr beginnt also die zweite Schlafhälfte und die Lerchen werden von alleine gegen 7 Uhr morgens wach. Im Gegensatz dazu gibt es die Langschläfer, die Eulen. Die Eule wird erst so richtig müde gegen 3 Uhr nachts und erst dann beginnt ihr erholsamer Schlaf

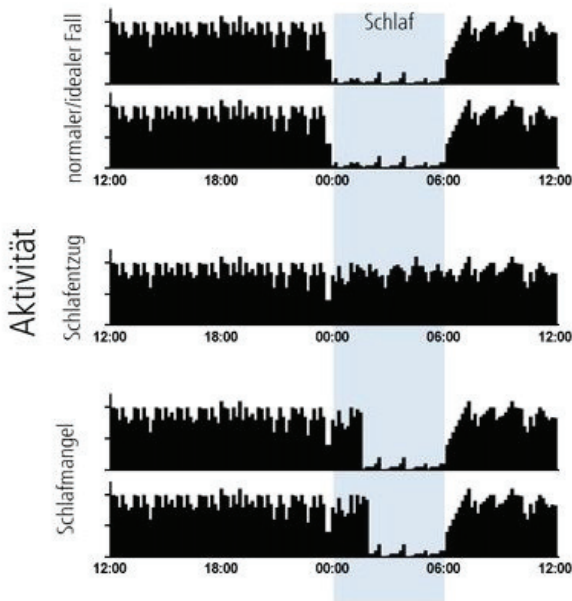


mit der ersten Nachthälfte, die bis etwa 7 Uhr dauert, ihr Mittelpunkt des Schlafes. Die zweite Schlafhälfte beginnt nun um 7 Uhr und die Eule erwacht selbstständig aus dem erholsamen Schlaf gegen 11 Uhr morgens. Die Lerche und die Eule sind dabei nur Extrembeispiele. Vielmehr gibt es ein Kontinuum an Chronotypen in der Gesellschaft. Die Mehrheit der Menschen unserer Gesellschaft ist weder Lerche noch Eule, sondern liegt irgendwo dazwischen. Dieser persönliche Chronotyp ändert sich ein wenig mit den Jahren. Die Eltern unten Ihnen kennen das. Die Kleinsten haben einen recht frühen Chronotyp und stehen in der Regel ab 6 Uhr morgens top fit auf und wollen spielen. Dies ändert sich im Jungendalter und man sieht den Nachwuchs morgens gar nicht mehr. Frühestens gegen Mittag kommen Teens und Twens aus ihrem Zimmer und verlangen ihr Frühstück. Im weiteren Verlauf der Lebensuhr wird der Chronotyp wieder ein früherer¹.

Die andere bereits angesprochene Stellschraube, die uns zum Schlafen zwingt, ist die sog. Homöostase. Schlaf und Wachheit bedingen einander. Die Schlafphysiologie spricht in diesem Zusammenhang vom sog. Schlafdruck der größer wird, je länger wir wach sind. Am frühen Morgen um 7 Uhr ist der Schlafdruck gering und steigt dann stetig über den Tag an. Legen wir uns dann am Abend wieder schlafen, sinkt der Schlafdruck. Das heißt wir bauen den Schlafdruck beim Schlafen ab. Auch bei einem Mittagsschlag nimmt der Schlafdruck kurzzeitig ab, bevor er wieder weiter zunimmt. Schlafdruck häuft sich an, solange wir wach sind. Besonders groß wird er, wenn wir eine Nacht gar nicht schlafen. Wird der Schlafdruck in der Nacht nicht abgebaut, addiert sich der restliche Schlafdruck nach und nach auf. Das heißt Schlafmangel ist akkumulativ. Betrachtet man - als ein Maß für die Müdigkeit - die Zeit die eine Person benötigt um einzuschlafen, die sog. Schlaflatenz, sollten dies üblicherweise nicht mehr als 20 Minuten sein. Lässt man nun Personen, die normalerweise 16 Minuten zum Einschlafen brauchen, nur je 5 Stunden pro Nacht schlafen, resultiert das in einer immer kürzer werdenden Einschlafzeit².

Die vielleicht bekannteste Schlafdruck modulierende Substanz ist das Koffein. Eine Substanz die in die Schlaf-Homöostase eingreift. Wenn Nervenzellen aktiv sind, produzieren diese aktivitätsabhängig verschiedene Substanzen wie z. B. das sog. Adenosin. Dieses Adenosin ist es, was anderen schlafsteuernden Nervenzellen sagt, dass diese uns in den Schlaf legen sollen. Ist nun Koffein zugegen produzieren die Nervenzellen natürlich weiterhin das schlaffördernde Adenosin, doch die Nervenzellen, die den Schlaf einleiten sollten bekommen davon nun nichts mehr mit, da das Koffein deren Funktion (genauer die Adenosinrezeptoren) hemmt. So wird uns also suggeriert wir wären wacher, was letztlich dazu führt, dass wir noch müder als vorher sind, sobald das Koffein aus unserem Körper verschwunden ist.

Nachdem wir nun gesehen haben, welche Systeme daran beteiligt sind, dass wir schlafen wollen, möchte ich nun ein wenig auf die Schlaf-Quantität, also die Dauer und Häufigkeit des Schlafes eingehen. An dieser Stelle sei bereits gesagt, dass es bis heute keine Publikation gibt, die zeigt, dass Schlafmangel auch nur für irgendeine physiologische Funktion dienlich wäre. Es gibt aber sehr viele Publikationen die zeigen, wie wichtig Schlaf für den Körper sein kann.



Hier sehen Sie nun die Tag-Nacht Aktivität eines Menschen, der recht gut auf seinen Tag-Nacht-Rhythmus hört, regelmäßiger Aktivität nachgeht, um 12 Uhr schlafen geht und am nächsten Morgen um 6 Uhr aufsteht, um diesen Rhythmus in sehr ähnlicher Weise erneut zu durchlaufen (Abbildung 1). Diese Person hat ein gut ausgeprägtes Tag-Nacht-Aktivitätsprofil, was einst den normalen, heute eher den idealen Fall darstellt. Das andere Extrem sehen Sie darunter: Dieser Proband verzichtet gänzlich auf seine Nacht und legt sich nicht schlafen. Wir sprechen hier von Schlafentzug. Ein Aktivitätsprofil, wie wir es heute häufig finden, sehen Sie ganz unten. Die Personen weist schon noch einen Tag-Nacht Rhythmus auf, aber nicht mehr so gut und regelmäßig wie diese Person im idealen Fall. Die Person hat abends noch etwas zu tun und bleibt etwas länger auf und in der nächsten Nacht kommt noch etwas Wichtiges dazu, weshalb Sie noch ein bisschen länger aufbleibt, um aber natürlich den Tag zur selben Zeit wie die anderen zu beginnen. Dieses Aktivitätsprofil zeigt einen Schlafmangel, der sobald dieser chronisch wird, massive gesundheitliche Einschränkungen mit sich bringt. In unserer Gesellschaft ist dies allerdings ein akzeptiertes Modell. Wir bleiben länger wach, weil wir glauben mehr erledigen zu können. Was wir im Extremfall aber - ganz ähnlich bei chronischem Schlafmangel-verpassen ist enorm. Schlafmangel kann den tageszeitlich regulierten Verlauf der Hormon-Ausschüttung durcheinanderbringen. Das Cortisol - auch Wachhormon genannt - folgt einem circadianen Verlauf und steigt während der Nacht stark, um am Morgen in einer starken Ausschüttung zu gipfeln. Diese Extraportion fehlt jedoch am frühen Morgen, wenn wir in der Nacht nicht schlafen. Ein wenig anders verhalten sich Schilddrüsen-Hormone. Diese werden kurz vor dem Schlafen gehen am stärksten ausgeschüttet und in der Nacht eher herunterreguliert. Schlafen wir in der Nacht nicht, werden Schilddrüsen-Hormone unkontrolliert ausgeschüttet und



sammeln sich an. Ganz besonders hervorheben möchte ich an dieser Stelle Wachstumshormone. Die Wachstumshormone werden ausschließlich in der ersten Nachthälfte nennenswert freigesetzt und fluten den Körper. Diese Wachstumshormone stimulieren sowohl Knochen als auch Muskelwachstum auf natürliche Weise. Wenn wir eine Nacht nicht schlafen werden die Wachstumshormone gar nicht mehr richtig ausgeschüttet. Die große Ausschüttung in der ersten Nachthälfte bleibt gänzlich aus³. Forscher konnten mittlerweile zeigen, dass Kinder aus sozial schwächeren Umfeldern, in denen wenig Wert auf Gesundheit gelegt wird, kleiner sind als vergleichbare Kinder aus Umfeldern, in denen auf die Gesundheit geachtet wird. Der totale Schlafentzug ist dabei nur die offenkundigste Art und Weise Schlafmangel herbeizuführen. Der Effekt bei chronischem Schlafmangel ist nicht minder schlecht, nur ist es eher ein schleichender Prozess und die negativen Auswirkungen zeigen sich nicht sofort.

Soweit bekannt ist, ist der Mensch übrigens die einzige intelligente Säugetier-Art, die sich selbst freiwillig Schlafentzug antut. Dabei müsste der Schlaf doch abhängig von der Jahreszeit stark variieren. Chronobiologen und Schlafforscher untersuchen mittlerweile immer häufiger Urvölker wie die Tsimane in Bolivien, die Toba in Argentinien oder die San in Südafrika. Auch bei diesen südlich des Äquators lebenden Völkern hat man einen Unterschied in der Schlafdauer zwischen Sommer und Winter feststellen können⁴. Das heißt also die Schlafdauer ist etwas Variablen, abhängig von der Jahreszeit, also dem Licht, der Temperatur und vom Alter. Säuglinge schlafen bis zu 16 Stunden und verbringen etwa die Hälfte davon im Traumschlaf und die andere Hälfte im Tiefschlaf. Mit zunehmendem Alter wird die Schlafdauer kürzer und der Anteil an Traumschlaf fällt überproportional ab. Während eine gut 30-jährige Person ca. 8 Stunden gesunden Schlaf benötigt, benötigt ein 80-Jähriger mitunter nur noch 6 Stunden physiologischen gesunden Schlaf⁵.

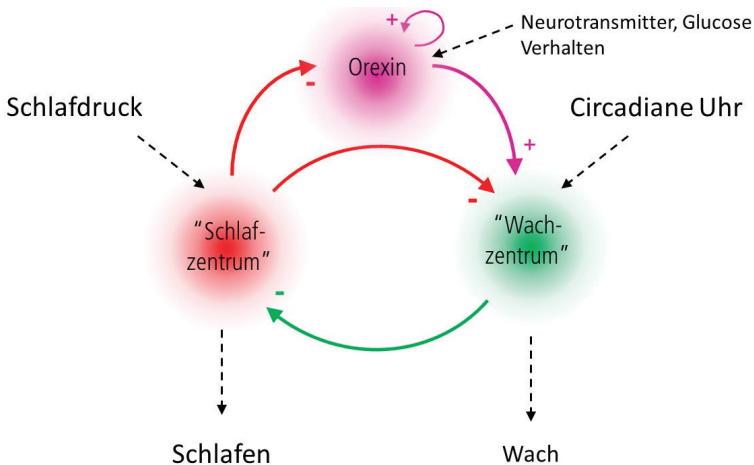
Wer aber nicht genug physiologisch gesunden Schlaf erhält, spielt mit seiner Gesundheit ebenso wie einer der raucht oder sich ausschließlich von Junk-Food ernährt. Bereits eine Nacht Schlafentzug reicht aus, um den Blutdruck in die Höhe zu treiben. Bei einer Schlafdauer von nur 3 Stunden kann dieser deutlich höher als der Blutdruck nach 10 Stunden Schlaf sein und das wie gesagt bereits nach nur einer Nacht⁶. Ganz ähnlich sieht die Situation nach chronischem Schlafmangel aus. Probanden, die für 10 Tage lediglich nur 5 Stunden schlafen durften, zeigten im Vergleich zu Kontrollschläfern eine deutlich erhöhte Herzfrequenz und ebenso einen erhöhten systolischen als auch diastolischen Blutdruck⁷.

Ein weiteres System, welches bei ungesundem Schlaf außer Kehr gerät ist unser Hunger. Hierfür spielen zwei Botenstoffe eine wesentliche Rolle: Zum einen das sog. Leptin, was unserem Gehirn Sättigung signalisiert und zum anderen das sog. Ghrelin, welches dem Gehirn Hunger anzeigt. Haben wir nun nicht genug geschlafen, kommt es zu einer Verschiebung im Hormonhaushalt und in unserem Körper findet sich deutlich mehr Ghrelin als Leptin⁸. Das wiederum bedeutet, dass wir subjektiv mehr Hunger haben, je weniger wir schlafen. Ob wir Hunger haben oder nicht, kann aber auch von unserem Gemütszustand abhängen. Dieser wiederum wird stark von unserem Schlaf beeinflusst. Jeder kennt das Gefühl nach einer zu kurzen Nacht. Wir sind unausgeschlafen, was sich womöglich in schlechter Laune widerspiegelt. Wir sind nörglerisch, impulsiv und am besten redet uns niemand an, denn sonst reagieren wir schnell emotional. Das könnte daran liegen, dass unser Emotionszentrum im Gehirn, die sog. Amygdala deutlich aktiver ist nach einer zu kurzen Nacht als normalerweise. Üblicherweise wird das Gefühlszentrum von einer anderen Region unterdrückt, dieser Mechanismus funktioniert aber nicht mehr, wenn wir zu wenig Schlaf bekommen haben. Die hohe Aktivität des Gefühlszentrums wirkt sich negativ auf unser Lern- und Entscheidungsverhalten aus. Eine Studie hat gezeigt, dass wir uns



Dinge, die wir mit einem bestimmten Gefühl assoziieren deutlich schlechter merken können, wenn wir unter Schlafentzug leiden, als wenn wir gut geschlafen haben. Das Verblüffende daran ist, dass sich diese Einprägsamkeit des Erlernten am deutlichsten auf positiv-assoziierte Stimuli auswirkt und weniger stark auf negative und gar nicht auf neutral-assoziierte Stimuli. Das heißt durch ein zu aktives Gefühlszentrum durch Schlafentzug werden wir blinder gegenüber positiv Erlerntem und auch Erlebtem⁹.

Häufig wird man gefragt, wie man geschlafen hat. Aus neurobiologischer Sicht ist diese Frage aber eigentlich nicht korrekt gestellt, denn Schlaf ist per Definition ein Zustand der Bewusstlosigkeit. Und dennoch gibt es da etwas, was uns am nächsten Morgen nach 8 Stunden Schlaf aufwachen und uns fühlen lässt, als könnten wir Bäume ausreißen. Es gibt aber auch den Morgen, an dem wir nach 8 Stunden Schlaf aufwachen und uns fragen, ob das wirklich das Richtige ist, was wir da tun. Quantität ist offensichtlich nicht alles und so möchte ich Ihnen nun beschreiben, warum sich 8 Stunden von 8 Stunden unterscheiden können.



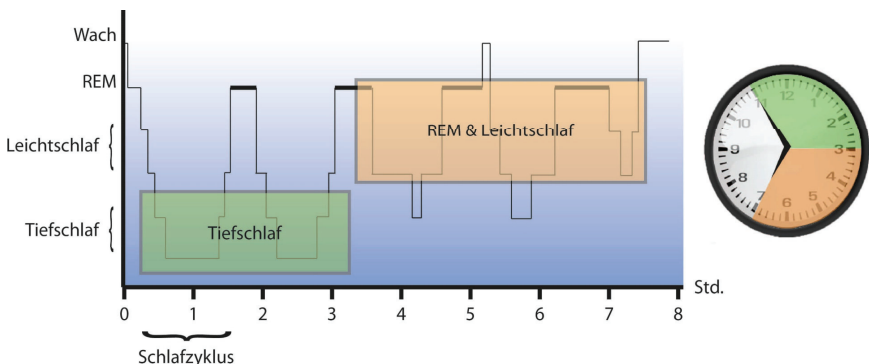
Schlaf ist eine aktive Netzwerkeigenschaft und so kommen wir beim Studium des Schlafes nicht um ein wenig Neurobiologie umhin. Zu Beginn wäre da unser Wach-Zentrum zu nennen. Dieses besteht aus verschiedenen Zentren im Stammhirn und kommuniziert letztlich mit Hilfe vieler verschiedener Neurotransmitter mit dem gesamten Gehirn. Dem gegenüber steht das Schlafzentrum. Dieses Zentrum hemmt unsere Muskeln im Schlaf und sorgt dafür, dass wir unsere Träume nicht ausleben können. Außerdem hemmt es wiederum das Wachzentrum. Und dann gibt es da noch ein drittes Zentrum, welches im Wesentlichen das Wachzentrum moduliert und an Aufweckreaktionen beteiligt ist.

Schematisch sieht das Ganze wie folgt aus (Abbildung 2). Die Nervenzellen des Wachzentrums halten uns wach und unterdrücken das Schlafzentrum. Irgendwann gewinnt dieses Zentrum die Oberhand und schaltet das Wachzentrum ab, sodass wir schlafen. Das Modulationszentrum wird ebenfalls vom Schlafzentrum beeinflusst, kann aber auch unabhängig davon das Wach-



zentrum aktivieren. Diese Verbindung ist besonders im Schlaf wichtig, ist Sie doch entscheidend für den Übergang in den Traumschlaf. Das Wachzentrum wird im Wesentlichen gesteuert durch unsere Innere Uhr, das Schlafzentrum reagiert sensibel auf Schlafdruck und auf die Abbauprodukte, die bei Aktivität entstehen und das Modulationszentrum kann durch viele verschiedene Stimuli beeinflusst werden wie z.B. verschiedene Neurotransmitter, Glukose und auch Verhalten. So ist dieses Zentrum auch an der Nahrungsaufnahme beteiligt, wodurch es das Wachzentrum aktiviert und vereinfacht gesagt wir nach später Nahrungsaufnahme nicht mehr so gut einschlafen können.

Das klingt nun alles recht theoretisch und kompliziert, aber ich bin mir sicher, dass viele von Ihnen schon mal kleine Neurobiologen waren und folgendes Verhalten beobachten konnten: Bei Kleinkindern kann man immer wieder beobachten, wie diese völlig übermüdet nicht aufgegeben zu Essen und den Wachtrieb anfeuern, obwohl der Schlafdruck, der das Schlafzentrum aktiviert ganz offensichtlich sehr hoch ist. Doch es gibt auch Erkrankungen, die mit einer Fehlsteuerung dieser Zentren einhergehen, wie z.B. Narkolepsie. Bei dieser Erkrankung gehen Nervenzellen des Modulationszentrums, des Orexinszentrums kaputt. Dies führt auf noch nicht ganz verstandene Weise unter anderem zu einer Muskelhemmung, die im Wachen Zustand beispielsweise durch Stress oder Lachen ausgelöst wird. In diesem Fall wird die gesamte Muskulatur des Patienten gehemmt und er sackt in sich zusammen und das alles bei vollem Bewusstsein. Dennoch kann er nicht antworten oder reagieren, da seine Muskeln gelähmt sind. Dieser Zustand betrifft allerdings nie die Atem- und Schluckmuskulatur. Der Zustand kann verschieden lange dauern, bevor der Patient die Kontrolle über seine Muskeln wieder erlangt.



Diese Prozesse sind beim Menschen nicht ohne Weiteres zu untersuchen. Eine Möglichkeit Schlaf beim Menschen zu untersuchen ist die Elektroenzephalographie, kurz EEG. Bei dieser Methode setzt man Elektroden von außen an den Kopf, mit denen es möglich ist, den Nervenzellen bei der Arbeit zuzusehen. Im wachen Zustand ergeben sich sehr kleine Wellen, die ein sehr unruhiges Muster ergeben. Je tiefer wir in den Schlaf gleiten, desto größer wird die Amplitude der Aktivität der Nervenzellen und je größer werden die Wellen. Das bedeutet, dass die Zellen im Tiefschlaf synchroner arbeiten, als im wachen Zustand. Lediglich im Traumschlaf, sehen wir wieder kleine wilde Wellen im EEG, die ein bisschen an die Wellen im Wachzustand erinnern. Kennzeichnend für den Traumschlaf ist neben dem wilden EEG, die für diese Schlafphase typische Augenbewegung. Beobachten Sie dies doch demnächst mal bei ihrem



Bettnachbarn. Die Augenbewegungen sind auch bei geschlossenen Liedern deutlich zu erkennen. Mit Hilfe dieser Wellen ist es nun möglich den Schlaf zu erfassen und zu beurteilen.

Aus den Aufzeichnungen der Gehirnaktivität und den sich daraus ergebenden Wellen lässt sich das sog. Hypnogramm (siehe Abbildung 3) erstellen. Hier sieht man die Schlafstadien auf einen Blick. Zunächst gelangen wir in den Leichtschlaf und dann in Tiefschlaf. Anschließend folgt der Traumschlaf und diese alle zusammen ergeben einen Schlafzyklus. Dieser wiederholt sich vier bis fünf Mal pro Nacht wobei die Anteile des jeweiligen Schlafstadiums variieren können. Sie erinnern sich an die Chronotypen über die ich eingangs etwas schrieb. Die erste und zweite Nachthälfte unterscheidet sich dahingehend, dass in der ersten Schlafhälfte der Tiefschlaf dominiert, wohingegen in der zweiten Nachthälfte der Traumschlaf vermehrt auftritt. Die Synchronisation der Nervenzellen hängt unter anderem von der zirkadianen Uhr ab, d.h. sollten Sie deutlich verschoben zu Ihrer Inneren Uhr ins Bett gehen, kann es passieren, dass Sie nicht mehr alle Schlafzyklen sauber durchlaufen. Es gibt Hinweise darauf, dass Sie, wenn Sie nach einer Feier mitten in der Nacht schlafen gehen, nur Schlafzyklen aufweisen, die überwiegend aus Traumschlaf bestehen und der Schlaf folglich weniger erholsam ist. Auch während der verschiedenen Schlafzyklen verändern sich physiologische Parameter wie die Herzfrequenz (sinkt im Tiefschlaf) oder die Atemfrequenz (sinkt ebenfalls). Beide steigen im Traumschlaf wieder deutlich an. Dieses Spiel wiederholt sich analog zum Auftreten der Schlafzyklen.

Allerdings sieht so nur der ideale Schlafverlauf aus. Nicht jede Nacht ist gleich und so kann die eine Nacht erholsam und die andere Nacht weniger erholsam sein. Wenn Sie in einer Nacht schlecht geschlafen haben und häufig aufgewacht sind, ärgern Sie sich nicht zu lange, sondern sorgen Sie dafür, dass ihre nächste Nacht wieder erholsamer wird.

Was passiert nun aber in diesen Schlafphasen und warum gibt es Sie. Die am besten untersuchten Schlafstadien sind die Tiefschlafphasen. Die Forschung weiß mittlerweile, dass die Schlafphasen notwendig sind für das Lernen und Erinnern. Am Tage, wenn wir wach sind und neue Dinge erlernen, nimmt unser Gehirn diese auf und speichert das Erlernte zunächst in einem Zwischenspeicher, dem sog. Hippocampus. Im Tiefschlaf werden diese gelernten Informationen gefestigt und konsolidiert, d.h. Sie werden aus dem Zwischenspeicher, dem Hippocampus entfernt und in das Langzeitgedächtnis, dem Cortex transferiert. Im Tiefschlaf findet also auf systemischer Ebene eine Festigung des Wissens statt, damit wir uns am nächsten Tag besser erinnern und das Wissen abrufen können. Das heißt die Erinnerung/das Erlernte ist im Langzeitgedächtnis verankert und der Zwischenspeicher, der Hippocampus ist wieder frei¹⁰. Das heißt aber auch, damit man etwas lernen kann muss man bereits gut geschlafen haben, denn sonst ist der Zwischenspeicher so voll, dass dieser überhaupt nichts Erlerntes verarbeiten kann, weil er noch mit den Aufgaben von vorgestern beschäftigt ist. So stellt die Forschung sich heute vereinfacht gesagt Lernprozesse vor.

Ganz besonders wichtig ist dieses Wissen um den Zusammenhang von Lernen und Schlaf letztlich für Kinder, für Schüler. Sie sind die chronobiologisch spätesten Typen und schlafen dementsprechend stark gegen ihre innere Uhr an, obwohl gerade Sie doch so viel lernen sollen. Es gibt mittlerweile erste Studien, die die Auswirkungen auf den Schlaf und das Lernen untersuchen. Eine Schule ermöglichte den Schülern der Oberstufe einen flexiblen Schulbeginn bis 09:15 Uhr. Die Schüler konnten selbst entscheiden, ob Sie pünktlich zur ersten Stunde zur Schule gehen oder lieber länger schlafen und erst um 09.15 Uhr da sind. Überraschenderweise hat sich eine Vielzahl für die zweite Variante entschieden, mit der Konsequenz, dass die Schüler tatsächlich länger schliefen. Sie gingen zur selben Zeit wie die Frühaufsteher ins Bett, blieben



aber eine Stunde länger im Bett. Dies hatte positiven Einfluss auf Ihr subjektives Schlafempfinden und Langschläfer stufen Ihren Schlaf als besser ein¹¹. Dies zeigte sich im Konzentrationsvermögen dieser Schüler und deckt sich sehr gut mit einer Studie aus den USA. Dort wurde der Schulanfang gleich zwei Stunden von 8 Uhr auf 10 Uhr verschoben, was dazu geführt hat, dass der Anteil der Schüler mit einem bestandenen Abschlusstest um 17% zugenommen hat. Doch der spätere Schulstart hatte nicht nur Auswirkungen auf die Leistung, sondern auch auf die Gesundheit der Schüler. Die Anzahl der Fehltage sank um fast ein Drittel. Auch dieser Effekt lässt sich möglicherweise mit einer verbesserten Schlafqualität erklären¹².

Denn schlechter bzw. dauerhaft zu kurzer Schlaf erhöht pro-inflammatorische Faktoren und erhöht die Zahl bestimmter Immunzellen im Blut wie z. B. Leukozyten, Monozyten und Neutrophile, sodass sich das Immunsystem bei Schlafentzug in Richtung einer chronischen Entzündung entwickelt. Zusätzlich werden durch zu wenig Schlaf anti-inflammatorische Faktoren reduziert, sowie die Anzahl der T-Helfer Zellen. Es gibt deutliche Hinweise darauf, dass die Antikörperbildung bei Schlafmangel stark minimiert wird. Dies wurde einmal am Beispiel einer Grippeimpfung gezeigt. Verglichen wurde die Fähigkeit Antikörper zu bilden in zwei Gruppen. Zum einen in einer Schlafkontrollgruppe, die 8 Stunden pro Nacht schlafen durften. Eine andere Gruppe durfte 6 Tage lang nur 4 Stunden schlafen. Nach diesen 6 Tagen bekamen beide Gruppen eine Influenza-Impfung und nach weiteren 10 Tagen wurde der Antikörperspiegel im Blut untersucht. Bei der Gruppe, die vor der Impfung nur 4 Stunden pro Nacht schlafen durfte, war der Antikörperspiegel nur halb so groß wie in der Schlafkontrollgruppe, sodass die Forschung mittlerweile davon ausgeht, dass Schlaf einen nicht zu verachtenden Effekt auf unser Immunsystem hat¹³.

Wir haben Eingangs bereits gesehen, dass sich während der Aktivität von Nervenzellen bestimmte Stoffe wie z.B. das Adenosin ansammeln. Eine andere Substanz die sich im Hirn ansammeln kann ist das sog. beta-Amyloid Protein. Vielleicht haben Sie diesen Namen schon einmal gehört. Das Amyloid Protein spielt bei der Alzheimer Erkrankung eine wesentliche Rolle. Erst in den letzten 10 Jahren hat die Forschung einen ganz besonderen Mechanismus entdeckt, der die Rolle des Schlafes in den Kontext neurologischer Erkrankungen stellt. Sie wissen vielleicht, dass es neben den Nervenzellen noch weitere Zellen im Gehirn gibt. Diese sog. Gliazellen wurden anfangs lediglich für Kitt zwischen den Neuronen gehalten. Mittlerweile wissen wir, dass diese Gliazellen die Nervenzellen mit Nährstoffen versorgen, diese unterstützen und deren Funktion aufrecht halten. Nun aber zu der Entdeckung: diese Gliazellen ziehen sich im Schlaf zusammen und schrumpfen und erhöhen damit das Volumen zwischen den Zellen im Gehirn, das sog. Interstitielle Volumen. Dieses Volumen ist im Schlaf deutlich größer, als im wachen Zustand. Besonders bemerkenswert ist die Tatsache, dass der Platz zwischen den Zellen im Tiefschlaf am größten ist - nicht im Leicht/Traum Schlaf. Das heißt im Tiefschlaf ziehen sich die Gliazellen zurück und erhöhen den Platz zwischen den Zellen. Das Erstaunliche daran ist, dass durch das Zusammenziehen der Gliazellen der Platz zwischen den Zellen größer wird und es dadurch zu einem Strom der Gehirnflüssigkeit von den Arterien zu den Venen kommt. Auf diesem Weg wäscht die Gehirnflüssigkeit sämtliche Stoffe mit, die sich tagsüber zwischen den Zellen angesammelt haben und das Gehirn wird jede Nacht einmal aufgeräumt^{14,15}. Auf diese Art und Weise wird z.B. auch das Amyloid Protein aus dem Gehirn gewaschen. Hier sei als Beispiel noch einmal eine Studie aus dem Jahr 2018 erwähnt: Sie zeigt, dass wenn wir gut und erholsam schlafen, lässt sich das Amyloid Protein in der spinalen Flüssigkeit, die aus dem Gehirn kommt nachweisen. Schlafen wird allerdings schlecht, finden wir



deutlich weniger dieses Proteins in der Flüssigkeit, was bedeutet, dass das Amyloid nicht ausgewaschen werden kann und im Gehirn verbleibt¹⁶. Wir stehen erst ganz am Anfang diesen Mechanismus, der Glymphatisches System genannt, zu verstehen und er ist Gegenstand vieler Forschungsprojekte.

Am Ende hoffe ich, dass ich Ihnen zeigen konnte, dass es sich lohnt seinen Schlaf ernst zu nehmen, denn erholsamer Schlaf steigert die Konzentration, die Aufmerksamkeit, die Entscheidungsfähigkeit, die Kreativität, die Sozialverträglichkeit und das Immunsystem und Wachstum. Ferner verringert guter Schlaf Stimmungsschwankungen, Stress, Ärger, Impulsivität und schlechte Gewohnheiten. Ich wünsche Ihnen, dass Sie in einem dunklen, reizarmen, kühlen Schlafzimmer, mit wenig Licht vor dem zu Bett gehen mit Stolz Gesundheit schlafen können.

1. Roenneberg, T. *et al.* Epidemiology of the human circadian clock. *Sleep Med. Rev.* **11**, 429–438 (2007).
2. Dement, W. C. Sleep Extension: Getting as Much Extra Sleep as Possible. *Clin. Sports Med.* **24**, 251–268 (2005).
3. *Principles and Practice of Sleep Medicine*. (Elsevier, 2017).
4. Yetish, G. *et al.* Natural Sleep and Its Seasonal Variations in Three Pre-industrial Societies. *Curr. Biol.* **25**, 2862–2868 (2015).
5. *Principles of neural science*. (McGraw-Hill, Health Professions Division, 2000).
6. Doyle, C. Y. *et al.* Associations between objective sleep and ambulatory blood pressure in a community sample. *Psychosom. Med.* **81**, 545–556 (2019).
7. Meier-Ewert, H. K. *et al.* Effect of sleep loss on C-Reactive protein, an inflammatory marker of cardiovascular risk. *J. Am. Coll. Cardiol.* **43**, 678–683 (2004).
8. Taheri, S., Lin, L., Austin, D., Young, T. & Mignot, E. Short Sleep Duration Is Associated with Reduced Leptin, Elevated Ghrelin, and Increased Body Mass Index. *PLoS Med.* **1**, e62 (2004).
9. Walker, M. P. & van der Helm, E. Overnight therapy? The role of sleep in emotional brain processing. *Psychol. Bull.* **135**, 731–748 (2009).
10. Feld, G. B. & Diekelmann, S. Sleep smart—optimizing sleep for declarative learning and memory. *Front. Psychol.* **6**, (2015).
11. Winnebeck, E. C. *et al.* Later school start times in a flexible system improve teenage sleep. *Sleep* **43**, (2020).
12. Kelley, P., Lockley, S. W., Kelley, J. & Evans, M. D. R. Is 8:30 a.m. Still Too Early to Start School? A 10:00 a.m. School Start Time Improves Health and Performance of Students Aged 13–16. *Front. Hum. Neurosci.* **11**, (2017).
13. Spiegel, K. Effect of Sleep Deprivation on Response to Immunization. *JAMA J. Am. Med. Assoc.* **288**, 1471–a-1472 (2002).
14. Brzecka, A. *et al.* Sleep Disorders Associated With Alzheimer’s Disease: A Perspective. *Front. Neurosci.* **12**, (2018).
15. Xie, L. *et al.* Sleep Drives Metabolite Clearance from the Adult Brain. *Science* **342**, 373–377 (2013).
16. Chen, D.-W., Wang, J., Zhang, L.-L., Wang, Y.-J. & Gao, C.-Y. Cerebrospinal Fluid Amyloid- β Levels are Increased in Patients with Insomnia. *J. Alzheimers Dis.* **61**, 645–651 (2017).